

WHITE PAPER

UM CAMINHO BASEADO EM DADOS PARA MODELOS GEOLÓGICOS CONFIÁVEIS

Como o Driver e o Leapfrog ajudam geólogos a descobrir, validar e modelar com mais confiança



Sumário executivo	03
CAPÍTULO 1	
Por que a interpretação estrutural precisa de uma abordagem baseada em dados mais robusta	04
CAPÍTULO 2	
Como o Driver quantifica a continuidade geológica local	06
CAPÍTULO 3	
Aplicação do Driver em fluxos de trabalho de modelagem geológica	09
Conclusão	23



Sumário executivo

Compreender as feições geológicas que controlam a estrutura de um depósito mineral é fundamental para criar um modelo defensável. A geologia estrutural desempenha uma função crítica, ajudando os geólogos a compreender as relações geológicas e a definir as continuidades espaciais que sustentam um modelo geológico e uma estimativa de recursos de alta qualidade. No entanto, em muitos fluxos de trabalho, ainda é um desafio obter informações estruturais confiáveis para dar suporte à interpretação de depósitos. Desvendar a continuidade das feições geológicas presentes em dados de sondagem esparsos é fundamental para a forma como os depósitos são compreendidos e modelados, mas isso raramente é quantificado de forma que possa ser utilizado diretamente para servir de base para os modelos (Sinclair e Valee, 1994; Reid e Cowan, 2023).

O Driver, por meio de um fluxo de trabalho conectado com o Leapfrog, preenche essa lacuna ao quantificar a continuidade geológica local diretamente dos dados de sondagem. Usando aprendizado de máquina, ele identifica tendências estruturais incorporadas à configuração espacial das análises, da litologia e das alterações registradas, transformando-as em dados de saída práticos que os geólogos podem inspecionar, interpretar e aplicar. Com isso, o Driver gera um fluxo de trabalho quantitativo e baseado em dados para a interpretação de depósitos estruturais, fornecendo dados de saída que reduzem o esforço manual necessário para criar modelos com base em informações estruturais e atualizá-los à medida que novos dados se tornam disponíveis.

Este documento explica por que a interpretação de depósitos estruturais exige uma abordagem baseada em dados, como o Driver quantifica a continuidade geológica e como esses insights podem ser usados nos fluxos de trabalho de descoberta, modelagem e estimativa. Com base em exemplos reais e estudos de caso, ele mostra como o Driver gera modelos geologicamente mais realistas e ajuda os geólogos a identificar, testar e aplicar padrões estruturais que, de outra forma, continuariam difíceis de usar.



CAPÍTULO 1

Por que a interpretação estrutural precisa de uma abordagem baseada em dados mais robusta

A modelagem geológica sempre dependeu das interpretações de especialistas. Isso continua sendo essencial, mas também cria restrições. Na maioria dos fluxos de trabalho, os geólogos devem tomar diversas decisões para converter observações de dados geológicos, interpretações e compreensão dos depósitos em dados de entrada para o software, que, em última instância, transforma os dados em um modelo digital utilizável (Kentwell, 2019). O Leapfrog acelerou significativamente a geração de superfícies e volumes, mas a interpretação dos dados e das feições ainda depende bastante do usuário. À medida que os conjuntos de dados se tornam maiores, mais densos e mais complexos, essa dependência se torna cada vez mais difícil de gerenciar.

Mais dados não significaram, automaticamente, uma modelagem mais orientada por dados

Mais dados de sondagem deveriam criar uma oportunidade para desenvolver modelos mais responsivos aos próprios dados (Sinclair e Blackwell, 2002). Na prática, porém, as interpretações estruturais às vezes são estabelecidas nas etapas iniciais e depois mantidas sem revisão ou atualização regular. À medida que o modelo passa a incorporar mais dados, questionar a interpretação original frequentemente se torna menos viável, e não mais.

Esse risco cria um fluxo de trabalho no qual vieses iniciais podem persistir, ajustes manuais aumentam a fadiga decisória e o modelo se torna mais difícil de escalar e justificar quantitativamente. O resultado é uma dependência significativa da interpretação humana inicial, mesmo quando novos dados deveriam sustentar uma representação digital mais detalhada e objetiva.

A continuidade é fundamental, mas difícil de representar de forma adequada

Um dos maiores desafios na criação de modelos geológicos quantitativos é a representação realista da continuidade geológica.

A continuidade descreve como as feições interceptadas por furos de sondagem individuais estão realmente conectadas no espaço em 3D. Ela rege a geometria das unidades geológicas e a forma como o teor se distribui em todo o depósito (Sinclair e Valee, 1994). Portanto, uma compreensão sólida da continuidade é fundamental tanto para a qualidade do modelo quanto para a confiabilidade dos recursos.

A continuidade, por si só, é difícil de ser quantificada diretamente. Ela pode ser inferida a partir de observações estruturais ao longo de furos de sondagem, como orientações de veios, acamamento ou foliação, mas esses conjuntos de dados costumam ser inconsistentes e podem não representar a continuidade em uma escala significativa para a criação de um modelo representativo.

Para complicar ainda mais essa questão, a geologia raramente é uniforme em todo um depósito (Stoch et al., 2022). A maioria das feições geológicas apresenta forte dependência direcional (anisotropia), com alterações na orientação principal frequentemente ocorrendo em escala local (como estratigrafia dobrada e deformada, redes complexas de veios e formas irregulares de corpos de minério). Modelos que reconhecem e incorporam a continuidade local tendem a refletir melhor a realidade geológica (Martin et al., 2019).

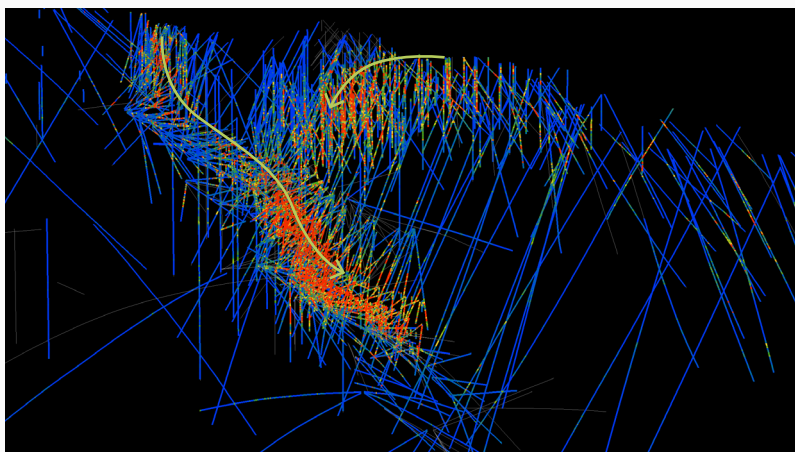


FIGURA 1: continuidade local expressa em dados de análise de teor da perfuração. Os padrões em escala de depósito (setas verdes) visíveis nesses dados podem fornecer insights importantes sobre as feições estruturais que controlam a distribuição do depósito.



CAPÍTULO 2

Como o Driver quantifica a continuidade geológica local

O Driver foi projetado para ajudar geólogos a quantificar a continuidade geológica local diretamente dos dados de sondagem. Seu método principal, o Spatial Continuity Mapping (SCM), é um algoritmo não supervisionado de aprendizado de máquina que detecta e mede a continuidade em conjuntos de dados geológicos em 3D. O SCM seleciona locais estratégicos de análise a partir dos dados de sondagem e, em cada local, mede e modela a continuidade geológica espacial de amostras semelhantes na área circundante.

Os resultados são apresentados como uma série de elipsoides locais, cada um representando a orientação predominante e a extensão da continuidade em um determinado ponto. Em conjunto, em todo um depósito, esses elipsoides representam um campo de anisotropia localmente variável (ALV) que os geólogos podem inspecionar, interpretar e usar em fluxos de trabalho posteriores (por exemplo, Stoch et al., 2022).

O mapeamento de continuidade espacial do Driver pode ser aplicado tanto a atributos numéricos escalares, como análise, quanto a informações categóricas, como códigos de litologias e de alterações registrados. Quando aplicado a dados relacionados à mineralização, ele revela controles estruturais locais sobre a continuidade do teor. Quando aplicado a dados de categorias, destaca feições como camadas estratigráficas, geometria intrusiva, orientações de veios e offsets de falha. Em todos os casos, o objetivo é o mesmo: extrair padrões estruturais diretamente dos dados, em vez de defini-los manualmente.

Como funciona o Spatial Continuity Mapping

O SCM incorpora dados de pontos em 3D ou dados de intervalo ao longo de furos de sondagem com atributos. Na análise geológica, esses dados normalmente representam amostras de sondagens de subsuperfície registradas com informações, como unidades estratigráficas, litologias de veios ou análises de dados geoquímicos.

As amostras que representam a feição de interesse, como uma litologia específica ou um teor acima de um limite estabelecido, recebem o valor 1, enquanto todas as demais amostras recebem o valor 0. Antes da análise, os dados geralmente são compositados ao longo de furos de sondagem em uma extensão de intervalo regular para reduzir o ruído de alta frequência, preservando as feições geológicas essenciais relevantes para interpretação e modelagem.

O fluxo de trabalho do SCM ocorre em três etapas principais: i) seleção do centro, ii) mapeamento de continuidade e iii) aprendizado de anisotropia.

Antes de tudo, um subconjunto de amostras é selecionado como centros de análise para distribuir os pontos de maneira relativamente uniforme pela área de interesse. Em cada centro, o SCM agrega amostras próximas acima do limite definido pelo usuário para mapear a continuidade local presente nos dados circundantes. Isso gera um elipsoide representativo de anisotropia que delimita a extensão e a orientação da continuidade ao redor do centro de análise.

Cada elipsoide captura os eixos principais (expressos como mergulho, direção do mergulho e inclinação) e os limites (alcances) da continuidade local, além de incluir métricas de qualidade, como confiança do modelo e suporte de dados.

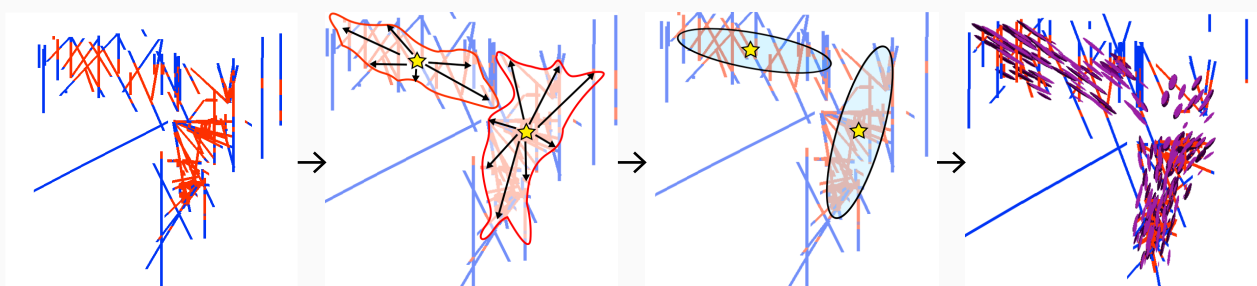


FIGURA 2: o algoritmo SCM para modelagem da continuidade local em função dos dados de sondagem com atributos.

A confiança é calculada como a proporção do espaço angular ao redor do centro que contém informações em 3D, enquanto o suporte de dados registra o número de amostras únicas que contribuem para a análise nesse local. Juntos, esses dados de saída fornecem aos geólogos métricas quantificadas para avaliar a confiabilidade de cada resultado local.

Em vez de usar a variografia tradicional para interpretar a continuidade espacial em um domínio maior, o SCM aprende a geometria local da continuidade diretamente do arranjo espacial dos dados de atributos.

O Driver representa a continuidade por meio de elipsoides locais, pois eles oferecem uma forma flexível de descrever feições geológicas com assinaturas espaciais complexas. Em uma estrutura única e unificada, os elipsoides podem representar a maioria das geometrias geológicas comuns, como feições planares (como camadas estratigráficas ou veios) e feições lineares (como bolsões de minério ou eixos de dobras com mergulho), além de quantificar a continuidade geométrica em um formato que pode ser

visualmente inspecionado e incorporado aos fluxos de trabalho posteriores.

Uma extensão relacionada do SCM é a classificação automatizada de elipsoides com base em sua proximidade espacial e propriedades anisotrópicas, incluindo orientação, tamanho e forma. Integrado diretamente ao SCM, esse recurso de agrupamento usa uma técnica de propagação de aprendizado de máquina semissupervisionado para identificar grupos de amostras espacial e anisotropicamente consistentes. O algoritmo baseia-se em propagação iterativa para produzir agrupamentos que seguem geometrias curvilíneas, como dobras, e posicionar limites de decisão em áreas onde a continuidade muda rapidamente. O algoritmo é amplamente não paramétrico, o que significa que os usuários não precisam definir previamente o número de agrupamentos. Em vez disso, ele aprende associações diretamente da configuração espacial dos dados e do campo de continuidade gerado pelo SCM, permitindo que os usuários ajustem a tolerância angular em conexões entre elipsoides próximos.

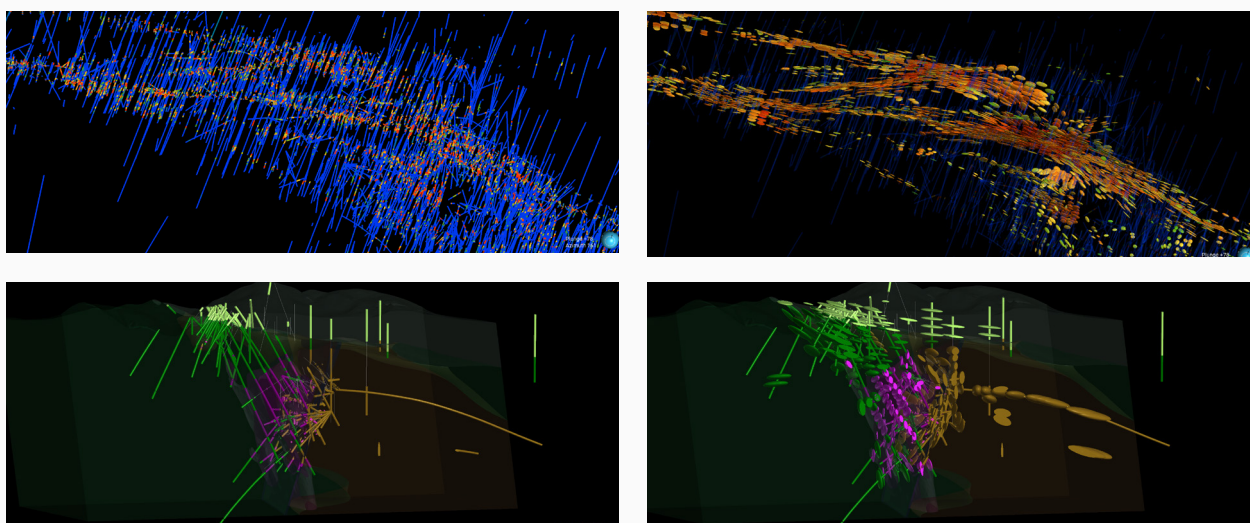


FIGURA 3: exemplos de dados de saída do SCM que analisam a continuidade local de veios com teor de ouro (Au) (parte superior) e de unidades litológicas capturadas em dados de sondagem (parte inferior).



CAPÍTULO 3

Aplicação do Driver em fluxos de trabalho de modelagem geológica

O valor do Driver está em como seus dados de saída são usados: para validar ou identificar feições geológicas, criar modelos implícitos mais robustos e dar suporte a fluxos de trabalho de estimativa que dependem de anisotropia baseada em dados.

01 Dados estruturais para descoberta e validação geológica

Os dados de continuidade gerados pelo Driver são uma forma de informação estrutural que representa as principais tendências geológicas contidas nas informações de perfuração. Eles podem ajudar os geólogos a identificar feições que talvez não tivessem sido reconhecidas anteriormente ou confirmar que uma interpretação existente é realmente sustentada pelos dados disponíveis. Isso torna o Driver útil não apenas para identificar novas oportunidades, mas também para testar hipóteses estruturais e decisões de criação de domínios de forma explícita e com mais confiança.

Validação geológica em Golden Cross, Coromandel, Nova Zelândia

Um exemplo de como o Driver dá suporte à validação da interpretação estrutural vem do depósito aurífero-argentífero Golden Cross, em Coromandel, Nova Zelândia. O depósito contém duas zonas primárias de mineralização: a Empire Zone, com mergulhos muito inclinados, e a Stockwork Zone ocidental, com mergulho mais suave (Begbie et al., 2007).

O Driver foi aplicado diretamente aos dados de teor de ouro, gerando um conjunto de elipsoides locais que revelou uma complexidade, incluindo uma série de ramificações de veios mineralizados na zona da lapa do Empire Vein. Embora essas ramificações tenham sido observadas em algumas das interpretações originais de seções transversais, sua reprodução independente por meio da continuidade derivada diretamente das análises fornece uma validação importante dessa interpretação geológica, fortalecendo as decisões de criação de domínios geológicos e estabelecendo uma forte ligação entre o modelo conceitual e os padrões empíricos presentes nas análises de teor.

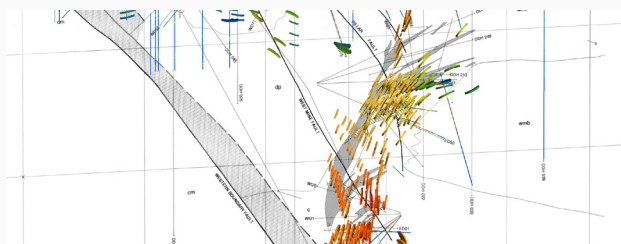


FIGURA 4: feições geológicas delineadas pelo Spatial Continuity Mapping na mina Golden Cross, em Coromandel, Nova Zelândia.

Descoberta geológica na operação em Waihi da OceanaGold

Os dados de saída estruturais gerados pelo Driver também podem dar suporte à identificação de feições economicamente significativas em conjuntos de dados de depósitos. Na operação de subsuperfície em Waihi da OceanaGold, o Driver ajudou a equipe de geologia a identificar uma ramificação de veio que não havia sido modelada anteriormente.

Trabalhando em um sistema epitermal geologicamente complexo, com múltiplas áreas de mineração e de operações antigas, a equipe usou o Driver para analisar o conjunto de dados de sondagem de recursos e gerar elipsoides que capturaram a orientação e a distribuição da continuidade local em estruturas mineralizadas. Quando comparada à geologia conhecida e aos dados subterrâneos de controle do minério, a interpretação gerada pelo Driver apresentou forte concordância com a arquitetura observada dos veios, o que deu à equipe maior confiança para aprofundar a investigação.

O principal insight surgiu quando o Driver destacou um grupo de elipsoides em uma área onde nenhum veio havia sido modelado. Isso sugeriu a presença de uma estrutura mineralizada com ramificação a partir do depósito principal. A equipe validou essa interpretação com base em uma galeria de mina existente, revisando informações da subsuperfície para confirmar que o padrão estrutural identificado pelo Driver era real e acionável. Após a confirmação, a falha do tipo rabo de cavalo foi modelada em wireframe, estimada e incorporada ao fluxo de trabalho do plano de lavra. Desde a análise inicial até um modelo de blocos totalmente estimado e pronto para o planejamento, o processo levou cerca de uma hora.



O resultado foi imediato e mensurável. A OceanaGold identificou uma fonte de valor anteriormente negligenciada, apontando para mais de 2.000 onças adicionais de ouro, das quais mais de 100 onças já foram recuperadas. Nesse caso, o Driver ajudou a revelar uma tendência estrutural sutil, mas economicamente significativa, e contribuiu para o desenvolvimento de um modelo mais completo e mais estreitamente alinhado às feições inerentes aos dados.

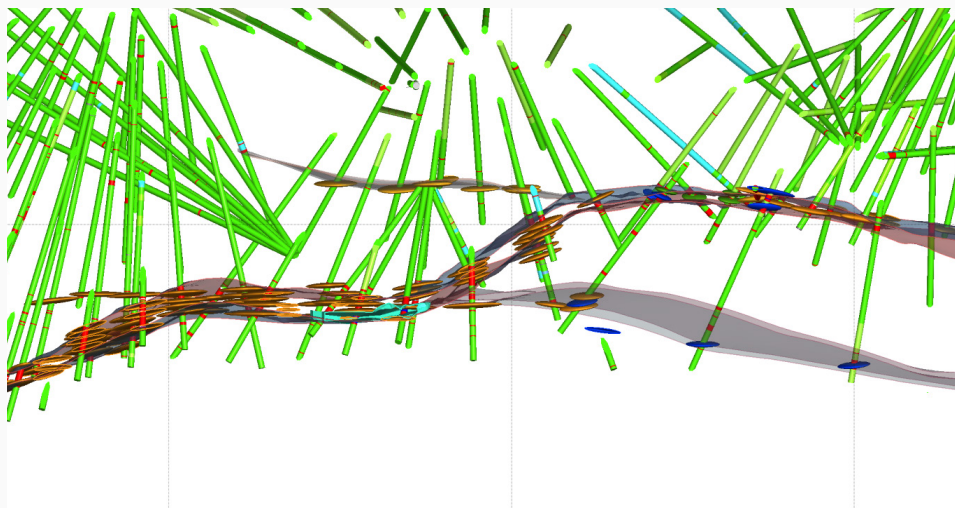


FIGURA 5: elipsoides do Driver destacando as orientações dos veios principais e das ramificações, derivadas do conjunto de dados de furos de sondagem de recursos.

[Leia o estudo de caso completo →](#)



02 **Análise de continuidade categórica e validação geológica**

O SCM pode ser aplicado diretamente a dados de categorias, oferecendo uma abordagem poderosa para quantificação de relações geométricas espaciais em informações registradas ao longo de furos de sondagem, como agrupamentos de litologias e de alterações hidrotermais. Ao dividir os dados em classes de indicadores que representam cada categoria, o algoritmo pode mapear a extensão local da continuidade, gerando conjuntos de elipsoides codificados que podem ser avaliados ou usados para orientar modelos subsequentes.

Como compreender as relações entre teor e litologia em um conjunto de dados de depósitos orogênicos

No depósito de ouro orogênico Sigma-Lamaque, no Canadá, foi usada a análise categórica do SCM para desvendar as associações entre as rochas hospedeiras e o teor entre veios de ouro mineralizados e diques félsicos a intermediários.

Primeiro, foi realizada uma análise da continuidade do ouro para estabelecer uma linha de base representativa da distribuição local de amostras com teores elevados. Em seguida, foi gerado um conjunto de elipsoides para cada unidade de rocha registrada, e os resultados foram comparados em cortes visuais no Leapfrog. O método oferece uma forma de comparar diretamente as relações de continuidade estrutural entre o teor e as diferentes litologias da rocha hospedeira.

A partir dessa abordagem, fica evidente que a distribuição de diques félsicos a intermediários apresenta uma forte associação local com as tendências de veios mineralizados subverticais; no entanto, apresenta fraca associação com o conjunto predominante de faixas mineralizadas de mergulho suave.

Esse é um exemplo de observação que fornece evidências importantes para compreender as relações geológicas necessárias para uma modelagem confiável e para a definição de domínios de recursos. As associações entre rocha hospedeira e teor em Sigma são complexas, exibindo relações localizadas entre feições, dependendo da competência da rocha e da proximidade com os caminhos de fluidos mineralizantes. Esses fluidos exploraram os diques félsicos a intermediários como veios de cisalhamento mineralizados, mas utilizaram outras rochas hospedeiras [por exemplo, Early Diorite (Diorito jovem)] para formar as zonas de veios extensionais de mergulho suave (Cowan, 2020).

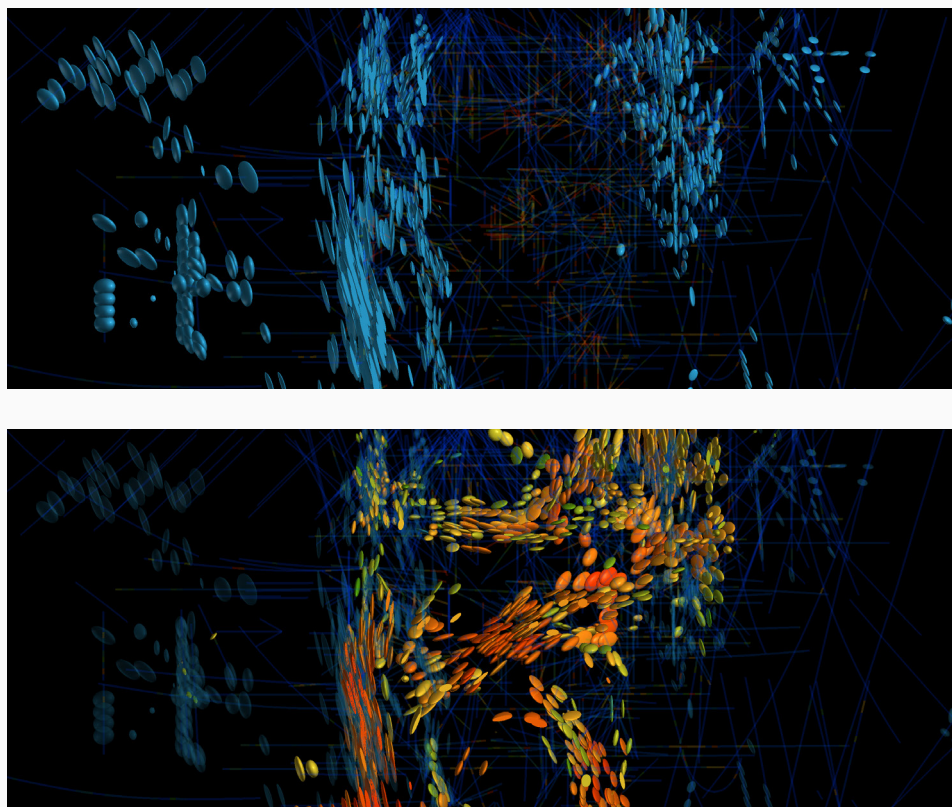


FIGURA 6: análise de continuidade da categoria com uso do Driver para interpretar as relações litológicas com teor de ouro elevado. Os discos estruturais em azul-claro representam as orientações locais de diques félsicos a intermediários. Os elipsoides multicoloridos representam teores elevados de ouro, coloridos de acordo com a confiança da análise.

03 Modelagem implícita aprimorada

A geologia raramente é simples, e as tendências globais muitas vezes não capturam a complexidade da continuidade local dos depósitos reais (Stoch et al., 2022). Embora o Leapfrog ofereça ferramentas para influenciar a anisotropia local, esses controles ainda precisam ser construídos manualmente e revisados à medida que os dados e o modelo evoluem.

O Driver automatiza esse processo com o uso do SCM para gerar restrições de continuidade objetivas e localmente adaptáveis diretamente dos dados de furos de sondagem. Ele produz um campo de elipsoides totalmente auditável que captura o estado triaxial local da continuidade, e que pode ser revisado, filtrado e refinado pelos geólogos antes de ser incorporado como restrições em seu modelo implícito.

Esse fluxo de trabalho é viabilizado pela ferramenta Structural trends de mesclagem triaxial do Leapfrog. Essa tendência preserva todos os dados de saída em 3D do Driver, incluindo geometrias planares e lineares, e é usada para influenciar os dados de saída gerados pelo mecanismo de interpolação RBF do Leapfrog. O resultado é um caminho direto desde a continuidade quantificada até modelos implícitos geologicamente plausíveis e altamente responsivos.

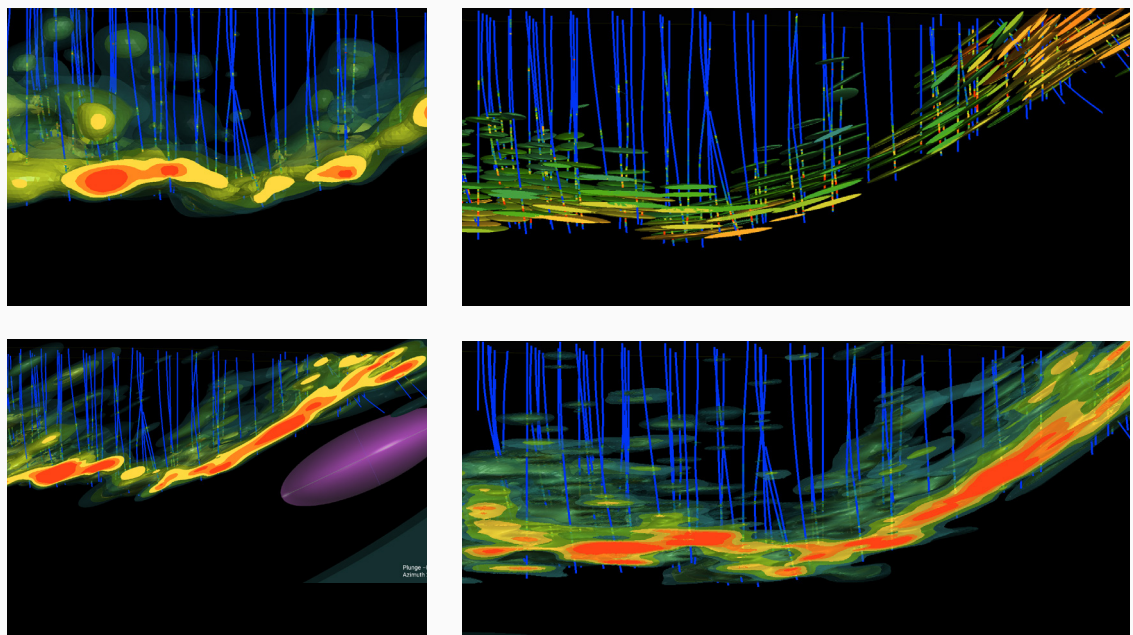


FIGURA 7: fluxo de trabalho Driver-Leapfrog que mostra como elipsoides locais gerados pelo Driver podem ser usados para orientar modelos numéricos implícitos no Leapfrog. À esquerda) modelos numéricos no Leapfrog com tendência isotrópica e global; à direita) elipsoides locais gerados pelo Driver e modelo informado por tendência estrutural de mesclagem triaxial.



Aprimoramento das representações de modelo implícito da SRK em um depósito de ouro antigo

A SRK Consulting aplicou o Driver a um depósito de ouro hospedado em zonas de cisalhamento, no qual a modelagem histórica se baseava em uma hipótese inicial sobre a tendência da mineralização em toda a área do depósito: a de que a mineralização apresentava uma direção e um mergulho “globais” consistentes. Com os novos dados de sondagem disponíveis, a SRK quis revisar essa interpretação estrutural e atualizar os modelos no Leapfrog para dar suporte a uma nova estimativa de recursos. Uma primeira revisão dos dados mostrou que, embora a interpretação anterior fosse aceitável como uma aproximação inicial, ela não refletia adequadamente as feições estruturais locais mais complexas do depósito, incluindo diversas mudanças locais significativas no mergulho, descontinuidades abruptas de teor e amplas estruturas semelhantes a dobras.

O Driver foi usado para testar a hipótese estrutural anterior e determinar se um modelo de continuidade mais representativo em escala local poderia ser usado para oferecer suporte a uma nova geração de modelos de domínios baseados em teor e adequados ao objetivo. A SRK gerou várias análises de SCM para examinar a continuidade em diversos limites de teor e depois selecionou um objeto de elipsoide local representativo para enviar ao Leapfrog para interpretação e inclusão no modelo atualizado.

A análise do Driver validou amplamente a interpretação anterior, mas também revelou uma complexidade estrutural que não estava representada na estimativa original. Os elipsoides locais indicaram uma estrutura sinclinal aberta e ampla na parte setentrional do depósito, várias áreas em que os mergulhos locais das zonas de cisalhamento se desviavam em mais de 10–15 graus da tendência principal e, de forma mais crítica, um acentuado aumento da inclinação da continuidade na área de mineração de expansão proposta. No modelo original, nenhuma dessas variações locais havia sido registrada.

Após filtrar os elipsoides com baixa confiança e métricas inadequadas de suporte de dados, a SRK usou os elipsoides locais e a tendência estrutural de mesclagem triaxial do Leapfrog para gerar uma série de volumes indicadores baseados em teor, que apresentaram uma clara melhoria em relação à interpretação legada. As superfícies com base em informações do Driver apresentaram maior coerência estrutural, maior flexibilidade local e maior fidelidade à geometria sugerida pelos dados de sondagem, delineando claramente tanto a estrutura de continuidade íngreme na área de mineração proposta quanto a ampla estrutura sinclinal observada no norte. É importante ressaltar que isso foi alcançado em minutos e com uma intervenção manual substancialmente menor do que em uma abordagem convencional.

[Leia o estudo de caso completo →](#)

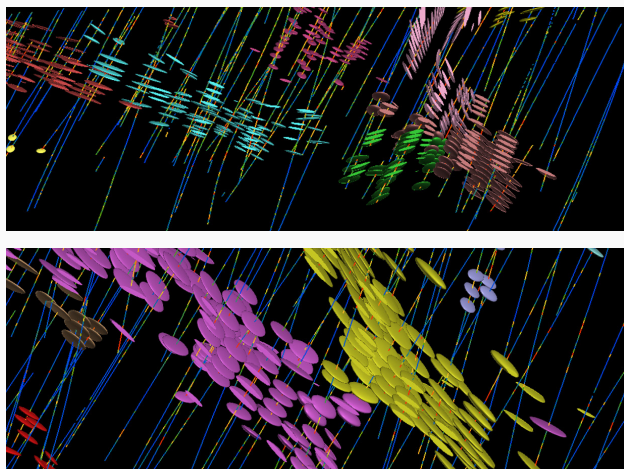


FIGURA 8: resultados do SCM coloridos por agrupamentos automáticos, mostrando uma estrutura de continuidade íngreme na cava de expansão proposta (parte superior) e zonas de cisalhamento com mergulho na região oeste do depósito (parte inferior).

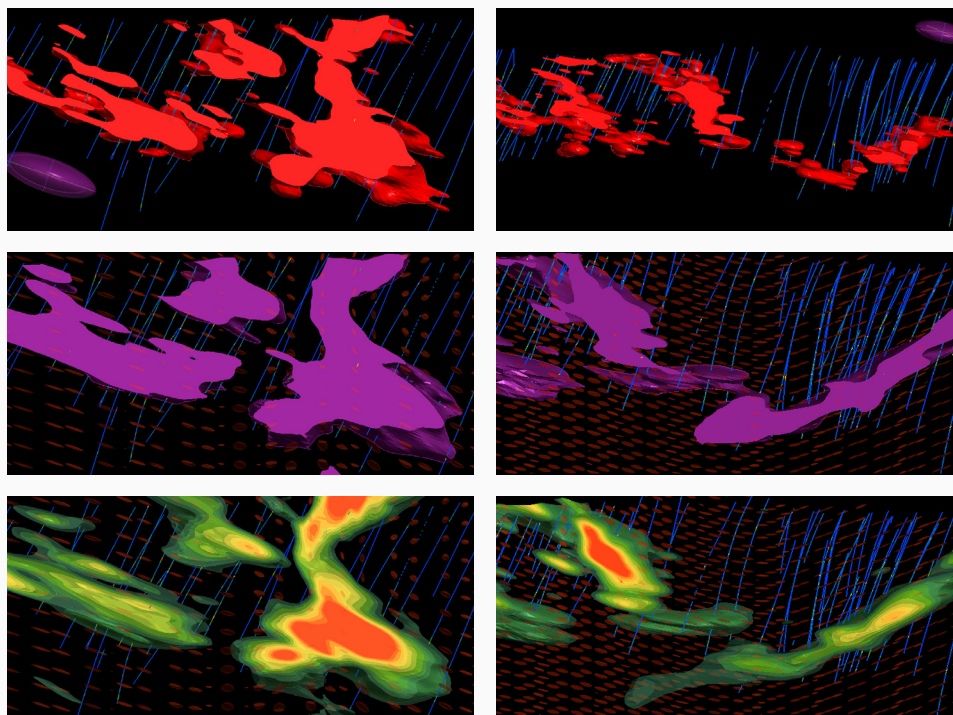


Figura 9: comparação entre o domínio implícito do Leapfrog e os modelos numéricos construídos com a tendência estrutural de fusão de marcadores triaxial com base nas informações do Driver (cores roxas e quentes), em comparação com o modelo anterior de mergulho global (vermelho). Os resultados delineiam uma estrutura de continuidade local com mergulhos muito inclinados na área de mineração proposta (à esquerda) e uma ampla estrutura sinclinal aberta (à direita).

04 Agrupamento automatizado de elipsoides de SCM para delimitação de domínios estruturais

O recurso de agrupamento no Driver transforma a análise de continuidade em um ponto de partida rápido e quantitativo para a interpretação de domínios baseada em dados, preparação de dados do modelo e análise exploratória.

Ele usa uma técnica de propagação de aprendizado de máquina semissupervisionado para identificar grupos de amostras espacial e anisotropicamente consistentes. Os agrupamentos de elipsoides gerados por SCM podem ser interrogados diretamente ou reavaliados em relação aos dados de sondagem originais, permitindo que os geólogos selecionem rapidamente os intervalos que correspondem aos veios individuais e aos domínios estruturais necessários para a modelagem subsequente no Leapfrog.

Geração de associações automáticas de veios para um depósito de ouro epitermal

Os depósitos de ouro epitermal frequentemente exibem configurações geometricamente complexas de veios de quartzo, como bifurcações, falhas do tipo rabo de cavalo e interseções de veios. É desafiador coletar essa complexidade diretamente no registro litológico ao longo de furos de sondagem, que normalmente coleta apenas os detalhes básicos, classificando determinados intervalos como veios sulfetados ou rocha hospedeira estéril.

Isso cria um desafio para a modelagem implícita, pois os veios individuais ainda precisam ser segregados e modelados de forma independente. Tradicionalmente, isso exige seleção manual de intervalos e atribuição às classes de veios com base em interpretações, o que torna a reinterpretação em larga escala lenta e impraticável.

O Driver simplifica esse fluxo de trabalho ao detectar tendências de veios por meio da análise de continuidade e agrupá-las onde a continuidade se rompe, se desloca ou é interrompida. Esses agrupamentos são atribuídos diretamente aos intervalos de perfuração dos dados de entrada para a criação automatizada de veios no Leapfrog. Aplicado a este exemplo de depósito epitermal, o Driver classificou rapidamente mais de 65.000 intervalos de amostra em 31 agrupamentos independentes de veios, dos quais oito foram selecionados para serem modelados como principais veios com teor de ouro. Os resultados refletem de perto o modelo criado manualmente, oferecendo aos geólogos um fluxo de trabalho alternativo e rápido para modelagem de veios e a confiança de que as decisões de domínio estão bem sustentadas pelos dados em 3D disponíveis.

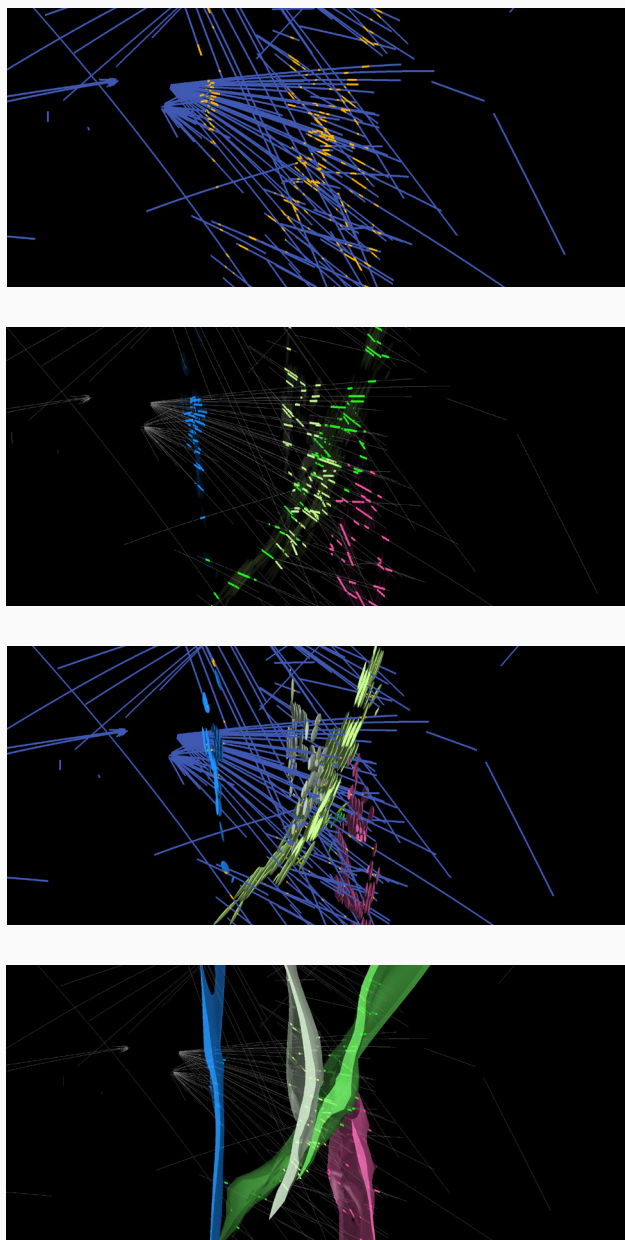


FIGURA 10: agrupamento de continuidade usado para delinear veios em um depósito de ouro epitermal. O primeiro painel mostra os dados brutos como veios sulfetados registrados. O segundo e o terceiro painéis mostram os elipsoides agrupados e avaliados sobre os intervalos de perfuração dos dados de entrada. O painel final mostra um modelo de veios do Leapfrog construído a partir de oito dos agrupamentos escolhidos gerados pelo Driver.

05 Anisotropia localmente variável como suporte à geoestatística avançada

Os dados de saída de continuidade do Driver também podem oferecer suporte à geoestatística avançada, especialmente quando a estimativa depende de anisotropia localmente variável (ALV). As tendências de teor que variam localmente não são impossíveis de modelar manualmente, mas demandam muito tempo para criação e são difíceis de manter, especialmente quando os geólogos estão digitalizando superfícies de mesh e estimando visualmente a geometria de forma manual.

O Driver fornece uma base fundamentada em dados e rápida para a estimativa de ALV, por meio da geração de elipsoides e informações estruturais diretamente da continuidade dos furos de sondagem. Os dados de saída podem ser usados para simplificar a modelagem de domínios, como um teste independente de estacionariedade geométrica e como controles de orientação local que influenciam a construção de mesh implícita e do interpolador de formas do Leapfrog, que podem ser usados para controlar a estimativa de orientação variável do teor.

Estimativa rápida de anisotropia localmente variável (ALV) de enxofre no depósito de Babbitt

O depósito de Babbitt é um grande depósito de Cu-Ni de baixo teor em Minnesota, Estados Unidos. A mineralização sulfetada está hospedada em rochas gabroicas na base da sequência, principalmente ao longo de uma faixa estreita que segue um contato basal gradualmente ondulado com metassedimentos não mineralizados (Severson et al., 2002).

O Driver foi usado para analisar a continuidade nas análises de teor de enxofre, gerando uma série de elipsoides e discos planares estruturais que capturam a tendência controlada pelo contato basal ondulado. Esses dados de saída foram enviados ao Leapfrog, onde foram usados para criar um volume de domínio de estimativa baseado em teor e um conjunto de superfícies de interpolador de formas que capturam a tendência local do teor em todo o depósito. Essas superfícies foram então inseridas no estimador de orientação variável do Leapfrog Edge, onde foram utilizadas para orientar uma estimativa de krigagem ordinária no estilo ALV. A anisotropia do teor foi aplicada por meio da reorientação local do elipsoide de busca e do variograma, fornecendo uma estimativa refinada que apresenta uma continuidade aprimorada ao longo da superfície ondulado de contato basal.

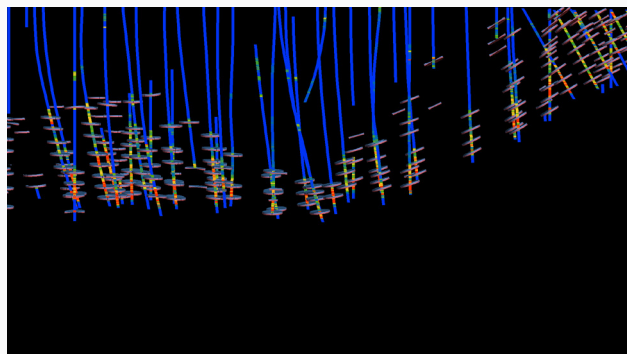
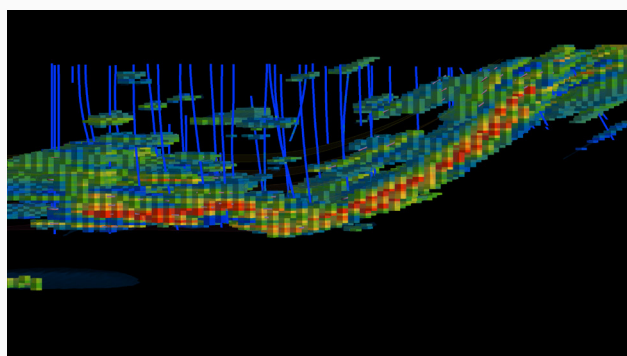
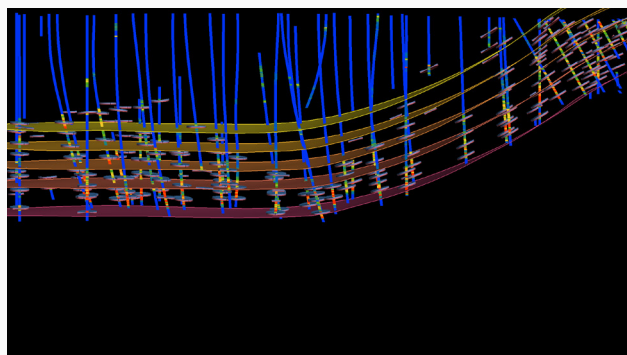


FIGURA 11: estimativa do teor de enxofre no estilo ALV no depósito Babbitt. As tendências derivadas do Driver são utilizadas como dados de entrada baseados em dados para interpoladores de formas do Leapfrog, volumes de domínio baseados em teor e estimativas de orientação variável.



Conclusão

O Driver representa um avanço significativo na forma como as informações estruturais podem ser extraídas e usadas na modelagem geológica e na estimativa. Ao quantificar diretamente a continuidade geológica local a partir de dados de sondagem, ele gera insights estruturais relevantes que oferecem suporte a uma ampla variedade de fluxos de trabalho, desde a análise exploratória de dados e a criação de domínios até a descoberta, a modelagem implícita e a estimativa.

Em todas essas aplicações, o valor é consistente: o Driver transforma informações estruturais que muitas vezes são difíceis de coletar e aplicar em dados de saída transparentes, auditáveis e úteis no trabalho diário de modelagem. Ao facilitar a quantificação, a atualização e a reutilização da interpretação estrutural, ele oferece suporte a modelos mais dinâmicos, mais conectados aos dados e mais alinhados à natureza local da geologia. Igualmente importante, ele preserva o papel do geólogo no processo. Em um mercado cada vez mais moldado pela automação, o Driver oferece um caminho que mantém os geólogos e sua expertise no centro, ao mesmo tempo que fornece a eles ferramentas melhores para criar, testar e refinar modelos com mais rapidez, confiança e controle.

Saiba mais sobre o Driver

Agende uma demonstração personalizada do Driver e veja como ele pode ser ativado em sua empresa.

Saiba mais

Referências

Begbie, M. J., K. B. Spörli e J. L. Mauk. 2007. "Structural Evolution of the Golden Cross Epithermal Au-Ag Deposit, New Zealand." *Economic Geology*.

Cowan, E. J. 2020. "Deposit-Scale Structural Architecture of the Sigma-Lamaque Gold Deposit, Canada: Insights from a Newly Proposed 3D Method for Assessing Structural Controls from Drill Hole Data." *Mineralium Deposita*.

Kentwell, D. J. 2019. "Destroying the Distinction Between Explicit and Implicit Geological Modelling."

Martin, R., D. Machuca-Mory, O. Leuangthong e J. B. Boisvert. 2019. "Non-Stationary Geostatistical Modeling: A Case Study Comparing LVA Estimation Frameworks." *Natural Resources Research*.

Reid, R. J. e E. J. Cowan. 2023. "Towards Quantifying Uncertainties in Geological Models for Mineral Resource Estimation Through Outside-In Deposit-Scale Structural Geological Analysis." *Australian Journal of Earth Sciences*.

Severson, M. J., J. D. Miller, D. M. Peterson, J. C. Green e S. A. Hauck. 2002. "Mineral Potential of the Duluth Complex and Related Intrusions." *Minnesota Geological Survey Report of Investigations 58*: 164–200.

Sinclair, A. J. e G. H. Blackwell. 2002. *Applied Mineral Inventory Estimation*. Cambridge: Cambridge University Press.

Sinclair, A. J. e M. Vallée. 1994. "Reviewing Continuity: An Essential Element of Quality Control for Deposit and Reserve Estimation." *Exploration and Mining Geology*: 95–108.

Stoch, B., J. Basson, J. N. Gloyn-Jones e K. G. Lomberg. 2022. "The Influence of Variable Anisotropic Search Parameters on Implicitly-Modelled Volumes and Estimated Contained Metal in a Structurally Complex Gold Deposit." *Ore Geology Reviews*.

Compreenda a subsuperfície para construir um mundo melhor.

Ao proporcionar uma melhor compreensão da subsuperfície, a Seequent está transformando a forma de trabalhar das empresas.

Como líder mundial em software para colaboração, análise e gerenciamento de dados e modelagem de dados geológicos, a Seequent lidera os esforços para compreender melhor a Terra.

Contratamos pessoas incríveis que colaboram com os nossos clientes e encontram soluções tecnológicas para enfrentar os desafios e obter os resultados mais positivos para criar um mundo melhor.

A Seequent, The Bentley Subsurface Company, integra o meio ambiente e o mundo construído para que as empresas possam gerenciar o impacto de seus projetos em todas as fases.

Seequent: compreensão da subsuperfície.